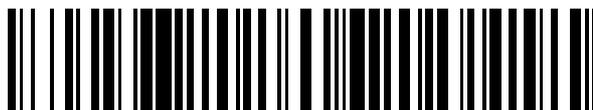


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 540 592**

51 Int. Cl.:

F01K 15/00 (2006.01)

F01K 23/10 (2006.01)

F22B 35/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2011** **E 11766991 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2015** **EP 2614303**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar una instalación combinada de turbinas de gas y vapor, así como instalación de turbinas de gas y vapor preparada para llevar a cabo el procedimiento y dispositivo de regulación correspondiente**

30 Prioridad:

14.10.2010 DE 102010042458

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

10.07.2015

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München , DE**

72 Inventor/es:

**BRÜCKNER, JAN;
BURGEMEISTER, ANTJE y
THOMAS, FRANK**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 540 592 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para hacer funcionar una instalación combinada de turbinas de gas y vapor, así como instalación de turbinas de gas y vapor preparada para llevar a cabo el procedimiento y dispositivo de regulación correspondiente.

5 La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar una instalación combinada de turbinas de gas y vapor, con una turbina de gas y con un generador de vapor de calor perdido post-conectado a la turbina de gas en el lado del gas de escape o del gas de calefacción, conforme al preámbulo de la reivindicación 1. La invención se refiere asimismo a una instalación de turbinas de gas y vapor preparada para llevar a cabo el procedimiento así como a un dispositivo de regulación correspondiente

10 Un generador de vapor de calor perdido es un intercambiador de calor, que recupera calor procedente de una corriente gaseosa caliente. Los generadores de vapor de calor perdido se usan entre otras cosas en instalaciones de turbinas de gas y vapor (instalaciones GUD), que se usan sobre todo para generar corriente. Con ello una instalación GUD moderna comprende habitualmente de una a cuatro turbinas de gas y al menos una turbina de vapor, en donde cada turbina acciona en cada caso un generador (instalación de varios árboles) o una turbina de gas junto con la turbina de vapor acciona, sobre un árbol común, un único generador (instalación de solo árbol).
15 Los gases de escape calientes de la(s) turbina(s) de gas se utilizan con ello en el generador de vapor de calor perdido para generar vapor de agua. El vapor se alimenta a continuación a la turbina de vapor. Normalmente recaen aproximadamente dos tercios de la potencia eléctrica en la turbina de gas y un tercio en la turbina de vapor.

20 En este punto cabe citar, para tener una visión completa, que como medio de flujo para el generador de vapor de calor perdido así como la turbina de vapor pueden usarse básicamente diferentes materiales. A continuación se hace referencia a modo de ejemplo a la utilización de agua o vapor de agua, ya que se trata con diferencia del medio de flujo más usual.

25 Análogamente a las diferentes etapas de presión de una turbina de vapor, también el generador de vapor de calor perdido comprende habitualmente varias etapas de presión con diferentes estados termodinámicos en funcionamiento normal de la mezcla agua-vapor contenida en cada caso. En el circuito de agua de alimentación o vapor circula el medio de flujo en su recorrido de flujo en primer lugar por un economizador, en el que se usa calor residual en la corriente de gas de escape para precalentar el medio de flujo. A éste se conecta el llamado evaporador, que de forma preferida puede estar ejecutado como evaporador de paso forzado y en especial como un llamado evaporador BENSON. A la salida de evaporador se aplica después el medio de flujo como vapor o mezcla de agua-vapor, en donde las posibles humedades residuales se separan en un dispositivo de precipitación allí
30 situado. El vapor conducido ulteriormente se calienta a continuación más en el sobrecalentador. Después de esto el vapor sobrecalentado afluye a la parte de alta presión de la turbina de vapor, allí se expande y se alimenta a la siguiente etapa de presión del generador de vapor. Allí se sobrecalienta de nuevo y a continuación se introduce en la siguiente etapa de presión de la turbina de vapor. A la salida de la turbina de vapor se conecta un condensador, en el que el vapor expandido se condensa y se alimenta como agua de alimentación a un depósito. Por último una
35 bomba de agua de alimentación transporta el agua de alimentación desde el depósito de nuevo al economizador. La corriente másica de agua de alimentación se controla con ello a través de una válvula de regulación post-conectada a la bomba de agua de alimentación.

40 En función del estado operativo del generador de vapor de calor perdido y, relacionado con ello, de la potencia actual del generador de vapor se regula la corriente másica de agua de alimentación en el circuito de agua de alimentación y en especial en el evaporador. En el caso de variaciones de carga el flujo a través del evaporador debería modificarse, lo más sincronizadamente posible con relación a la entrada de agua, en las superficies calentadoras del evaporador, porque en caso contrario no puede evitarse con seguridad una desviación respecto a un valor nominal de la entalpía específica del medio de flujo a la salida del evaporador. Una desviación indeseada de este tipo de la entalpía específica dificulta la regulación de la temperatura del vapor fresco que sale del generador de
45 vapor y conduce, además de esto, a unas elevadas cargas sobre el material y de este modo a una menor vida útil del generador de vapor.

50 Para mantener lo más reducidas posible las desviaciones de este tipo de la entalpía específica respecto al valor nominal deseado y, como resultado de ello, unas fluctuaciones de temperatura indeseablemente grandes en todos los estados operativos del generador de vapor, es decir, en especial también en estados transitorios o con cambios de carga, la regulación del flujo de agua de alimentación puede estar configurada a modo de un diseño llamado predictivo o previsor. Con ello se pretende proporcionar, en especial también en el caso de cambios de carga, los valores nominales de corriente másica de agua de alimentación en función del estado operativo actual o a esperar para un futuro próximo. Un sistema de regulación muy conveniente con respecto a esto se describe en las publicaciones para información de solicitud de patente EP 2 065 641 A2 y EP 2 194 320 A1, que tienen ambas su
55 origen en la solicitante. Se hace referencia expresa al manifiesto completo de estos documentos.

A las centrales de energía modernas se le exige no solamente unos elevados grados de eficacia, sino también un modo de funcionamiento lo más flexible posible. A esto pertenece, aparte de unos tiempos de arranque cortos y

unas altas velocidades de variación de carga, también la posibilidad de compensar perturbaciones de frecuencia en la red de interconexión de corriente. Para cumplir estos requisitos la central de energía debe ser capaz de poner a disposición potencias adicionales de por ejemplo un 5% y más en un plazo de unos pocos segundos.

5 Hasta ahora en las centrales de energía GUD habituales esto se materializaba mediante un aumento de carga de la turbina de gas. En determinadas circunstancias, sin embargo, puede ser posible en especial en el margen de carga superior que el aumento de potencia deseado no pueda ser aportado exclusivamente o con la suficiente rapidez por la turbina de gas. Por ello se han buscado entretanto también unas soluciones, en las que la turbina de vapor pueda y deba contribuir también a apoyar la frecuencia, sobre todo en los primeros segundos después de una demanda de potencia.

10 Esto puede suceder por ejemplo mediante la apertura de unas válvulas de turbina parcialmente estranguladas de la turbina de vapor o de una llamada válvula escalonada, con lo que se reduce la presión de vapor delante de la turbina de vapor. Por medio de esto el vapor procedente del acumulador de vapor del generador de vapor de calor perdido se extrae y se alimenta a la turbina de vapor. Con esta medida se consigue en un plazo de unos pocos segundos un aumento de presión en la central de energía GUD.

15 Esta potencia adicional puede liberarse en un tiempo relativamente corto, de tal manera que puede compensarse al menos en parte el aumento de potencia retardado a través de la turbina de gas (limitado por su velocidad de variación de carga máxima por motivos constructivos y operativos). Todo el bloque de central de energía realiza a causa de esta medida directamente un salto de potencia y puede mantener también este nivel de potencia permanentemente o incluso superarlo, mediante un aumento de potencia subsiguiente de la turbina de gas, siempre que la instalación se encuentre en el margen de carga parcial en el momento de las reservas de potencia demandadas adicionalmente.

20 Una estrangulación permanente de las válvulas de turbina para mantener una reserva conduce sin embargo siempre a una pérdida del grado de eficacia, de tal manera que para un modo de funcionamiento económico debería mantenerse lo más bajo posible el grado de estrangulación. Además de esto algunas formas constructivas de generadores de vapor de calor perdido, como por ejemplo los generadores de vapor de paso forzado, presentan en ciertas circunstancias un volumen de acumulación bastante menor que por ejemplo los generadores de vapor de circulación natural. La diferencia en el tamaño del acumulador tiene influencia, en el procedimiento descrito anteriormente, en el comportamiento en el caso de variaciones de carga de la turbina de vapor de la central de energía GUD.

25 Por ello la tarea de la invención consiste en indicar un procedimiento para hacer funcionar una instalación de turbinas de gas y vapor con un generador de vapor de calor perdido de la clase citada al comienzo, en el que en caso de necesidad pueda liberarse una reserva inmediata de potencia, y en el que no sufra más de lo debido el grado de eficacia en funcionamiento normal. Al mismo tiempo se pretende hacer posible el aumento rápido de potencia con independencia de la forma constructiva del generador de vapor de calor perdido, sin unas modificaciones constructivas invasivas importantes en el sistema conjunto. Otra tarea de la invención consiste en indicar una instalación de turbinas de gas y vapor especialmente adecuada para llevar a cabo el procedimiento, así como un dispositivo de regulación correspondiente.

30 La tarea referida al procedimiento es resuelta conforme a la invención mediante las particularidades de la reivindicación 1. Las reivindicaciones referidas contienen unos perfeccionamientos de esta invención parcialmente ventajosos y parcialmente por sí mismos de la invención.

35 El punto de partida para el desarrollo del procedimiento conforme a la invención es la idea de aumentar temporalmente la circulación de agua de alimentación a través del evaporador. Mediante esta medida se extrae energía térmica desde el evaporador y de las subsiguientes superficies calentadoras de sobrecalentador y se aplica a la turbina de vapor en forma de potencia adicional.

40 Como una posibilidad para materializar esto puede tomarse en consideración, en principio, pasar sencillamente del llamado "BENSON Control Mode", que se prefiere para funcionamiento estándar o normal a causa de un elevado grado de eficacia, al llamado "Level Control Mode".

45 En el "Level Control Mode" el evaporador se sobre-abastece permanentemente con agua de alimentación, hablando de forma simplificada, es decir, en realidad se sobrealimenta. El agua de alimentación todavía no vaporizada, que se produce de forma aumentada a causa de esto, debe separarse después del vapor en un precipitador post-conectado. De este modo, aunque puede cumplirse eficazmente el aumento de la corriente másica de agua de alimentación para proporcionar una potencia adicional, a la salida del evaporador aparece también agua residual indeseada bajo las circunstancias citadas. Aparte de esto se conciben de tal modo los conceptos de regulación de agua de alimentación, que durante el proceso de conmutación entre ambos modos de funcionamiento no se lleve a

cabo ninguna corrección brusca de los parámetros. En lugar de ello está prevista habitualmente una transición paulatina, y con ello lenta, entre ambos estados de sistema dinámicos.

En el "BENSON Control Mode" por el contrario se intenta, a través de una regulación predictiva, conducir a través del evaporador exactamente tanta agua que ésta se transforme de la forma más completa posible en vapor fresco con un estado termodinámico determinado. Con ello se prefija un llamado valor nominal de sobrecalentamiento a la salida del evaporador. La temperatura del vapor en la citada salida debe estar situada, según esto, en una magnitud diferencial deseada por encima de la temperatura de ebullición. Para esto se establece en primer lugar un valor característico, que caracteriza la corriente térmica en el evaporador. Teniendo en cuenta las magnitudes de calor almacenadas de forma intermedia en las piezas constructivas del evaporador, de aquí se obtiene la energía térmica disponible para el agua de alimentación. De aquí puede calcularse a su vez la cantidad de agua de alimentación que, con la ayuda de la oferta de calor en el vapor, puede transformarse en vapor con un sobre-aumento de temperatura conforme a lo prefijado. Mediante una activación correspondiente de la válvula de regulación post-conectada a la bomba de agua de alimentación se garantiza, por último, que se ajuste el valor nominal primario para la corriente másica de agua de alimentación calculado de este modo.

Para la liberación conforme a la invención de una reserva inmediata de potencia se reduce el valor nominal de sobrecalentamiento, de un valor normal diseñado para el funcionamiento estándar de la instalación de turbinas de gas y vapor con un grado de eficacia relativamente alto, hasta un valor de activación menor. Por medio de esto se produce un aumento de la corriente másica de agua de alimentación a través del sistema de regulación. Esto tiene como consecuencia, en el caso de una oferta de calor aproximadamente continua del gas de combustión, directamente una reducción del sobrecalentamiento, respectivamente de la temperatura del medio de flujo a la salida del evaporador. En consecuencia se reducen también las temperaturas de material de las superficies calentadoras afectadas, es decir, del evaporador y del sobrecalentador colocado corriente abajo. Como consecuencia de esta reducción de la temperatura de material se extrae finalmente energía térmica desde las superficies calentadoras del evaporador y del sobrecalentador a causa del mayor flujo del medio con una temperatura mínima menor y se aplica a la turbina de gas en forma de potencia adicional.

Con ello se considera ventajoso que entre los dos valores nominales de sobrecalentamiento se conmute de forma abrupta y discontinua, de forma preferida con un tiempo de conmutación de como máximo un segundo o menos. De este modo se pretende poner a disposición en el menor tiempo posible la reserva inmediata de potencia, como reacción ante perturbaciones de frecuencia.

Debido a que conforme disminuye el valor de activación aumenta la magnitud de la reserva inmediata de potencia, es además ventajoso elegir para el aumento de temperatura un valor próximo a la temperatura de ebullición del medio. Al mismo tiempo resulta ser desventajosa una aproximación demasiado fuerte a la temperatura de ebullición, ya que en este caso puede aparecer de forma creciente agua residual indeseada a la salida del evaporador.

Con relación a esto se considera como valor de activación un compromiso más práctico, en este sentido, un sobre-aumento de temperatura respecto a la temperatura de ebullición del medio de entre 5 K y 15 K. Por el contrario, como valor normal para el funcionamiento estándar del generador de vapor de calor perdido y de la turbina de vapor se busca un sobre-aumento de temperatura de entre 30 K y 40 K como mínimo.

Para lograr una prefijación más exacta del estado termodinámico del vapor fresco está previsto, en una variante de procedimiento mejorada, no registrar el punto de ebullición como valor fijo en una memoria, sino determinarlo indirectamente a través de una medición de presión preferidamente permanente a la entrada o salida del evaporador.

En una versión de procedimiento además muy conveniente, el cálculo del valor nominal primario para la corriente másica de agua de alimentación se realiza mediante formación de cocientes. Con ello está previsto como numerador el valor característico de corriente térmica, que caracteriza la corriente térmica que se transfiere del gas de combustión al evaporador, teniendo en cuenta las magnitudes de calor almacenadas de forma intermedia en las piezas constructivas del evaporador. El denominador está formado a su vez por la diferencia entre un valor nominal de entalpía del medio a la salida del evaporador, caracterizado por el valor nominal de sobrecalentamiento correspondiente así como por la presión medida a la salida del evaporador, y la entalpía establecida del medio a la entrada del evaporador, que por su lado puede determinarse a través de una medición correspondiente de temperatura y presión. De esta forma se obtiene un valor nominal base de la corriente másica de agua de alimentación, que produce también de forma permanente los valores nominales requeridos en el estado regulado del sistema en el caso más favorable. Este se considera por definición el estado al 100% o estado de partida del caso de carga correspondiente. Esto es válido con independencia de si el sistema formado por el generador de vapor de calor perdido y la turbina de vapor se encuentra en funcionamiento con carga parcial o a plena carga. El sistema de regulación conjunto, que normalmente trabaja de forma especialmente efectiva dentro de un margen de valores limitado, se mantiene por medio de esto siempre exactamente dentro de este margen de valores.

5 Conforme a un sistema de regulación preferido para aplicar el procedimiento conforme a la invención está previsto, de forma complementaria al circuito de regulación predictivo, un segundo circuito de regulación que trabaja en paralelo. Con ayuda de este segundo circuito de regulación se determina un valor nominal secundario para la corriente másica de agua de alimentación. Para esto se realiza una formación diferencial a partir de la entalpía establecida del medio a la salida del evaporador y la prefijación correspondiente del valor nominal de entalpía. El valor nominal secundario se usa con ello casi como valor de corrección, que pretende aumentar todavía más la precisión de la regulación y en los casos, en los que el valor nominal primario presenta grandes errores o fluctúa a causa del sistema, actúa corrigiendo o estabilizando.

10 En especial si se utiliza un regulador de corrección, con el que el valor nominal secundario se transforma en una magnitud relativa adaptada, es especialmente conveniente en este contexto enlazar entre sí multiplicativamente ambos valores nominales para la corriente másica de agua de alimentación. De este modo puede reducirse ulteriormente la influencia de magnitudes absolutas en el sistema de regulación.

15 Alternativamente a la prefijación del valor nominal de sobrecalentamiento, es decir a una temperatura, en el sistema de regulación puede estar también previsto un valor nominal de entalpía, que o bien se establece a través de unas magnitudes características o actúa de forma determinante sobre éstas. En cualquier caso, el cambio entre el valor normal correspondiente y el valor de activación correspondiente debe producir que la oferta de calor se redistribuya entre una mayor cantidad de agua de alimentación.

20 A la hora de hacer retroceder el sistema al funcionamiento estándar puede ser ventajoso no volver discontinuamente del valor de activación al valor normal, sino volver a regular continuamente y con ello con un retardo de tiempo. Esto puede hacerse por ejemplo sincrónicamente con el aumento de potencia de la turbina de gas, si se desea una potencia continua de la central de energía conjunta durante ese tiempo. Con este fin el dispositivo de regulación puede estar equipado en un punto adecuado con unos elementos de retardo correspondientes.

25 El procedimiento aquí descrito para hacer funcionar un generador de vapor de calor perdido así como una turbina de vapor post-conectada, con la opción de liberar entretanto una reserva inmediata de potencia, se usa de forma preferida en una instalación combinada de turbinas de gas y vapor. Esta reserva inmediata de potencia se usa aquí principalmente como regulador de potencia de rápida disponibilidad, ya que la potencia adicional puede liberarse en un tiempo relativamente corto. Con ayuda del regulador de potencia puede puentearse un espacio de tiempo limitado, que es suficiente para compensar al menos parcialmente el aumento de potencia retardado a través de la turbina de gas (limitado por su velocidad máxima de variación de potencia por causas constructivas y operativas).
30 Todo el bloque de central de energía realiza mediante esta medida directamente un salto de potencia y puede mantener también permanentemente, o incluso superar, este nivel de potencia mediante el aumento de potencia de la turbina de gas, iniciado en paralelo.

35 Cabe citar por último que el procedimiento conforme a la invención puede materializarse incluso sin unas medidas constructivas invasivas. Puede aplicarse solamente mediante una implementación de módulos adicionales en el sistema de regulación. De esta forma se consiguen una mayor flexibilidad de instalación y un mayor aprovechamiento de la instalación sin costes adicionales.

40 Aparte de esto el procedimiento es independiente de otras medidas, de tal forma que por ejemplo pueden abrirse adicionalmente unas válvulas de turbina estranguladas, para reforzar todavía más el aumento de potencia de la turbina de gas. Asimismo puede realizarse simultáneamente una regulación de las corrientes másicas de inyección de refrigerantes de inyección, etc. previstos en el generador de vapor de calor perdido, con la misma finalidad de regulación. La efectividad del procedimiento queda en su mayor parte inalterada mediante estas medidas parciales.

A continuación se explica con más detalle un ejemplo de ejecución de la invención con base en un diagrama en bloques. La figura muestra, a modo de un diagrama en bloques, una representación esquemática de una instalación de turbinas de gas y vapor con un sistema de regulación correspondiente.

45 El procedimiento conforme a la invención se usa en el ejemplo de ejecución para hacer funcionar una instalación combinada de turbinas de gas y vapor (instalación GUD). Para una mejor visión general se considera con ello una turbina de vapor DT con solamente una etapa de presión. Para el experto responsable es posible sin problemas, con relación a esto, una ampliación a varias etapas de presión y unas etapas de sobrecalentamiento intermedias correspondientes.

50 La turbina de vapor DT de la instalación GUD está integrada en un circuito de agua de alimentación 1. Partiendo de un depósito de agua de alimentación R se transporta el agua de alimentación mediante la bomba 2 hasta un evaporador de circulación forzada 3. A éste está preconectado normalmente además un economizador no reproducido aquí para precalentar el agua de alimentación. La corriente másica de agua de alimentación en el evaporador de paso forzado 3 puede variarse a través de una válvula de regulación 4, cuyo ajuste de válvula se realiza mediante un motor de ajuste M correspondiente. En el evaporador de paso forzado 3, llamado a partir de
55

ahora también abreviadamente evaporador 3, están previstas varias superficies calentadoras. Por causas constructivas éstas pueden llamarse, de forma correspondiente a su secuencia en el circuito de agua de alimentación 1, superficies calentadoras de economizador 5, evaporador y sobrecalentador 7. A la salida del evaporador el agua de alimentación está presente pasada a su fase gaseosa y se sigue calentando como vapor con ayuda de unas superficies calentadoras de sobrecalentador 8 post-conectadas. Entre el evaporador 3 y las superficies calentadoras de sobrecalentador 8 se encuentra además un precipitador AS que, en caso de necesidad, separa agua residual indeseada del vapor. El vapor sobrecalentado se usa exclusivamente para obtener energía eléctrica en una turbina de vapor DT y se condensa en el condensador K post-conectado de nuevo en agua de alimentación, la cual es reconducida al depósito de agua de alimentación R. Todas las superficies calentadoras del circuito de agua de alimentación 1 están dispuestas en un canal de gas caliente 9. En éste canal de gas caliente 9 se introducen los gases de escape de una turbina de gas GT. Estos circulan primero sobre las superficies calentadoras de sobrecalentador 7, 8, después del evaporador 6 y finalmente del economizador 5 así como, si existen, las superficies calentadoras del economizador. De este modo se materializa un generador de vapor de calor perdido con el que, como consecuencia de la combinación con la turbina de vapor DT, puede usarse el calor acumulado en los gases de escape de la turbina de gas GT, al menos parcialmente, para obtener energía eléctrica.

Para garantizar un grado de eficacia lo más alto posible, la corriente másica de agua de alimentación en el circuito de agua de alimentación 1 debe regularse y adaptarse a posibles fluctuaciones de la alimentación de gas caliente a través de la turbina de gas GT. Para esto está previsto un sistema de regulación 10 correspondiente, el cual activa el motor de ajuste M y con ello adapta el ajuste de la válvula de regulación 4.

El citado sistema de regulación 10 está estructurado fundamentalmente con unos llamados módulos funcionales FB 01 ... FB 10. Estas unidades pueden procesar señales de medición, acceder a datos que estén archivados en una memoria y transformar estas señales o estos datos, a través de unos enlaces lógicos, en unos valores funcionales que después se transmiten a otros módulos funcionales FB 01 ... FB10 o se usan como código de órdenes para controlar aparatos post-conectados, como el motor de ajuste M. En el ejemplo de ejecución las órdenes de control para el motor de ajuste M se generan desde el módulo funcional FB 01. Como base de datos o señales de entrada se utilizan con ello dos valores nominales establecidos a través de dos circuitos de regulación que trabajan en paralelo, que están enlazados entre sí a través de un elemento multiplicador 11.

Uno de los dos circuitos de regulación está concebido como un llamado circuito de regulación predictivo o previsor. Con este circuito de regulación, que a partir de ahora llamaremos circuito primario, se pretende precalcular, teniendo en cuenta los tiempos de reacción del sistema, con qué corriente másica de agua de alimentación puede conseguirse en un intervalo de tiempo subsiguiente un funcionamiento básicamente seguro, además de con un grado de eficacia especialmente alto. La magnitud correspondiente, que representa en cuanto a su dimensión una corriente másica, recibe el nombre de valor nominal primario y se corresponde en éste intervalo de tiempo subsiguiente con el primero de los dos valores nominales, que se enlazan entre sí a través del elemento multiplicador 11.

Para determinar el valor nominal primario se enfrentan dos magnitudes A y B en un elemento divisor 12. La magnitud A, establecida a través de un módulo funcional FB 02, representa con ello la oferta de calor disponible para el medio agua, es decir, el calor extraído del gas de escape de la turbina de gas GT y alimentado al evaporador 3 menos los importes almacenados de forma intermedia en las superficies calentadoras del evaporador 5, 6, 7. Precisamente esta oferta de calor se quiere usar para producir una determinada variación de entalpía B del medio en el evaporador 3. Esa variación de entalpía B se obtiene mediante la formación diferencial en el elemento sumador 13 entre el valor de entalpía deseado del medio a la salida del evaporador y el valor de entalpía del medio a la entrada del evaporador. El valor de entalpía del medio a la entrada del evaporador se considera en este cálculo como dado aunque variable y se determina a través de un módulo funcional FB 03, que recurre a las señales de medición de un sensor de temperatura 14 y de un sensor de presión 14a. Por el contrario, se pretende prefijar el estado termodinámico del medio y en consecuencia también el valor de entalpía a la salida del evaporador. Para esto se ha archivado en el módulo funcional FB 04 un valor nominal de sobrecalentamiento. La temperatura del vapor a la salida del evaporador debe estar situada según esto en un importe prefijado, el valor normal, por encima de la temperatura de ebullición del medio, que se establece por su lado con ayuda de los datos de un sensor de presión 15 a la salida del evaporador. El valor nominal de entalpía del medio que de aquí se deduce, a la salida del evaporador, se alimenta desde el módulo funcional FB 04 al elemento substractor 13.

A la hora de calcular el valor nominal primario pueden tenerse en cuenta además otras magnitudes, también magnitudes representativas de las influencias dinámicas. Un término corrector correspondiente se determina mediante un elemento funcional FB 05 y después se añade a un elemento sumador 16 post-conectado al elemento divisor 12.

El segundo circuito de regulación, también llamado circuito secundario, está ejecutado como circuito de regulación que reacciona y pretende aumentar todavía más, mediante una especie de sintonización en fino, la precisión de todo el sistema de regulación 10. Esto se realiza con ayuda de un ajuste de valor nominal-valor real en un elemento substractor 17. Como valor nominal se alimenta al elemento substractor 17, a través del módulo funcional FB 06, el

valor nominal de entalpía del medio a la salida del evaporador calculado por el módulo funcional FB 04. El valor de entalpía correspondiente se basa en las señales de medición de un sensor de temperatura 18 así como del sensor de presión 15 a la salida del evaporador, y se determina mediante un módulo funcional FB 07. La desviación entre valor nominal y valor real establecido de este modo se alimenta por último a un elemento regulador PI 19, que en el lado de salida se usa en el segundo valor nominal o valor nominal secundario para el elemento multiplicador 11. En el caso de este valor nominal se trata de una magnitud relativa adimensional que, con independencia de si la central de energía combinada se encuentra en funcionamiento a plena carga o con carga parcial, está situada cerca del valor 1. Debido a que los componentes de un circuito de regulación trabajan de forma especialmente efectiva sólo en un margen de valores limitado, mediante una referencia a una magnitud relativa de este tipo puede garantizarse que el margen de valores a esperar coincida en la mayor medida posible, con independencia de magnitudes absolutas, con el margen de valores favorable con relación a los componentes.

Para liberar una reserva inmediata de potencia se reduce el valor nominal de sobrecalentamiento, conforme a la invención, desde un valor normal diseñado para el funcionamiento estacionario de la instalación de turbinas de gas y vapor, con un grado de eficacia relativamente alto, hasta un valor de activación menor. Esta reducción del valor nominal actúa tanto sobre el circuito primario como sobre el circuito secundario del circuito secundario del sistema de regulación 10. Las regiones del sistema con ello afectadas se han destacado mediante las marcas 20 y 21.

A modo de ejemplo, en el ejemplo de ejecución se realiza la variación del valor nominal de sobrecalentamiento de forma discontinua. Por ello esta variación puede producirse en cada circuito de regulación mediante la distribución de un conmutador 22, 23. Con ello cada conmutador se activa a través de un módulo funcional FB 08, FB 09 correspondiente, en donde la conmutación de ambos conmutadores 22, 23 se realiza fundamentalmente al mismo tiempo. Alternativamente a esto también es posible una ejecución sin los conmutadores 22, 23. En este caso los módulos funcionales FB 08, FB 09 asumen un trabajo más complejo. En lugar de conmutar sólo entre dos valores, los módulos funcionales FB 08, FB 09 prefijan automáticamente, en función de una perturbación de frecuencia medida en la red de interconexión de corriente, un valor nominal de sobrecalentamiento adaptado que está situado en un margen de valores archivado.

A la reducción del valor nominal de sobrecalentamiento es también inherente una reducción del valor nominal de entalpía del medio a la salida del evaporador. Ese valor nominal de entalpía basado en el valor de activación se calcula a través de un módulo funcional FB 10 adicional. Este valor nominal de entalpía sustituye, durante la fase de activación de la reserva inmediata de potencia, el valor nominal de entalpía perteneciente al valor normal tanto en el elemento substractor 17 del circuito secundario como en el elemento substractor 13 del circuito primario.

En consecuencia aumentan la corriente másica de agua de alimentación en el evaporador 3 y con ello el flujo de agua de alimentación a través del mismo. Con esta medida se extrae energía térmica desde el evaporador 3 y las superficies calentadores de sobrecalentador subsiguientes, a causa de la mayor circulación, con unas temperaturas de medio relativamente menores y se aplica a la turbina de vapor DT en forma de potencia adicional.

35

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar una instalación combinado de turbinas de gas y vapor, con una turbina de gas (GT), un generador de vapor de calor perdido post-conectado a la turbina de gas (GT) en el lado del gas de escape o del gas de calefacción, el cual presenta al menos una superficie calentadora de evaporador (6) a través de la cual puede circular un medio de flujo, y con una turbina de vapor (DT) post-conectada al generador de vapor de calor perdido en el lado del medio de flujo, en la que el medio de flujo se alimenta al generador de vapor de calor perdido en forma de agua de alimentación, en donde está previsto un circuito de regulación primario para una regulación predictiva de la corriente másica de agua de alimentación, y en donde con base en un valor nominal de sobrecalentamiento, que es característico del sobre-aumento de temperatura del medio de flujo existente a la salida de la superficie calentadora de evaporador (6) con relación a su temperatura de ebullición, y con base en un valor característico de corriente térmica, que es característico de la corriente térmica transferida a través de la superficie calentadora de evaporador (6) desde el gas de calefacción al medio de flujo, teniendo en cuenta el calor acumulador en las piezas constructivas de superficie calentadora de evaporador, se establece un valor nominal primario para la corriente másica de agua de alimentación y la corriente másica de agua de alimentación se post-regula de forma correspondiente, caracterizado porque para la activación de una reserva inmediata de potencia disponible brevemente se reduce el valor nominal de sobrecalentamiento, de un valor normal diseñado para el funcionamiento estacionario de la instalación de turbinas de gas y vapor, con un grado de eficacia relativamente alto, hasta un valor de activación menor.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la conmutación se lleva a cabo de forma abrupta y discontinua.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, en donde el valor de activación se elige de tal modo, que el sobre-aumento de temperatura permanece positivo durante la fase de activación.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en donde durante la fase de activación se ajusta un sobre-aumento de temperatura dentro de un margen de entre 5 K y 15 K, de forma preferida de 10 K.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde durante el funcionamiento normal previo a la fase de activación se ajusta un sobre-aumento de temperatura de al menos 30 K, de forma preferida de al menos 40 K.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la temperatura de ebullición del medio de flujo a la salida de la superficie calentadora de evaporador (6) se establece con base en la presión medida del medio de flujo y, dado el caso, con base en otras magnitudes de medición.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde para establecer el valor nominal primario para la corriente másica de agua de alimentación se forma el cociente entre el valor característico de corriente térmica y un valor característico diferencial de entalpía, característico del aumento de entalpía del medio de flujo en la superficie calentadora de evaporador (6), y en donde el valor característico diferencial de entalpía se establece con base en el valor nominal de sobrecalentamiento convertido en un valor nominal de entalpía y la entalpía medida del medio de flujo a la entrada de la superficie calentadora de evaporador (6).
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde con ayuda de un circuito de regulación secundario, mediante una comparación entre la entalpía medida del medio de flujo a la salida de la superficie calentadora de evaporador (6) y un valor nominal de entalpía allí prefijado, se establece un valor nominal secundario para la corriente másica de agua de alimentación, y en donde la corriente másica de agua de alimentación se post-regula con base en un valor nominal total formado por el valor nominal primario y el valor nominal secundario.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en donde el valor nominal primario y el valor nominal secundario se multiplican entre sí para formar el valor nominal total.
10. Procedimiento según la reivindicación 8 ó 9, en donde durante la fase de activación se conmuta el valor nominal de entalpía, de un valor de partida diseñado para el funcionamiento estacionario de la instalación de turbinas de gas y vapor, con un grado de eficacia relativamente alto, a un valor de activación menor.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en donde el valor nominal de entalpía se conmuta fundamentalmente al mismo tiempo que el valor nominal de temperatura.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, en donde al final de la fase de activación se vuelve, de forma continua y con retardo de tiempo, desde el valor de activación respectivo al valor normal correspondiente.
13. Instalación combinado de turbinas de gas y vapor, con una turbina de gas (GT), un generador de vapor de calor perdido post-conectado a la turbina de gas (GT) en el lado del gas de escape, el cual presenta al menos una

5 superficie calentadora de evaporador (6) a través de la cual puede circular un medio de flujo, con una turbina de vapor (DT) post-conectada al generador de vapor de calor perdido en el lado del medio de flujo, y con una entrada de agua de alimentación ajustable a través de una válvula de regulación (4) para el generador de vapor de calor perdido, en donde está previsto un dispositivo de regulación para la corriente másica de agua de alimentación, que presenta unos medios para llevar a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12.

14. Dispositivo de regulación para una instalación combinado de turbinas de gas y vapor, que presenta unos medios para llevar a cabo el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12.

